



TUGAS AKHIR - SF 141501

**KARAKTERISASI LISTRIK MATERIAL
 $\text{Mg}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{TiO}_3$ DITAMBAH V_2O_5 DENGAN
VARIASI WAKTU SINTERING PADA 1100°C**

Setiawan Abdillah
NRP 1111 100 007

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Suasmoro, DEA

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SF 141501

**ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF
 $\text{Mg}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{TiO}_3$ DOPED BY V_2O_5 USING
VARIATION OF SINTERING TIME AT 1100°C**

Setiawan Abdillah
NRP 1111 100 007

Advisor
Prof. Dr. Suasgoro, DEA

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISASI LISTRIK MATERIAL $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$
DITAMBAH V_2O_5 DENGAN VARIASI WAKTU
SINTERING PADA 1100°C**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Bidang Fisika Material

Program Studi S-1 Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SETIAWAN ABDILLAH

NRP 1111100007

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Suasmoro, DEA
NIP. 19550210 198010 1 001

Surabaya, Juli 2015

**KARAKTERISASI LISTRIK MATERIAL $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$
DITAMBAH V_2O_5 DENGAN VARIASI WAKTU
SINTERING PADA $1100^{\circ}C$**

Nama : Setiawan Abdillah
NRP : 1111100007
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Suasmoro

Abstrak

Material $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ telah disintesis dengan metode wet mixing menggunakan variasi 2wt%, 4wt%, dan 6wt% V_2O_5 dengan suhu sintering $1100^{\circ}C$ selama 4 jam dan 8 jam. Penambahan zat aditif V_2O_5 menyebabkan material $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ mengalami penyusutan lebih cepat dan menghasilkan penyusutan lebih besar dibandingkan dengan tanpa doping. Dilakukan identifikasi fasa untuk semua sampel yang menghasilkan terbentuknya fasa sekunder Mg_2TiO_4 dan fasa yang tidak diketahui. Penambahan waktu sintering menghasilkan pertumbuhan ukuran butir yang mengakibatkan nilai konstanta dielektrik yang besar pada daerah polarisasi dipolar dan sebaliknya nilai real, imajiner, dan tan delta rendah pada frekuensi rendah. Material dengan densitas terbesar memiliki nilai resistivitas dan real yang tinggi sedangkan konduktivitas, factor disipasi, dan dielectric loss yang kecil. Selain itu densitas tertinggi memiliki rentang frekuensi polarisasi dipolar yang besar.

Kata kunci : dielektrik, polarisasi dipolar, sintering fasa cair

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ DOPED BY V_2O_5 USING VARIATION OF SINTERING TIME AT 1100°C

Name : Setiawan Abdillah
NRP : 1111100007
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Prof. Dr. Suasmoro

Abstract

$\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ powder was synthesized by dissolved method using a variation 2wt%, 4wt%, and 6wt% V_2O_5 with sintering temperature 1100°C for 4 hours and 8 hours. The addition of additives V_2O_5 cause material $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ shrinking faster and produce a greater shrinkage than without doping. The identification phase for all samples that resulted in the formation of secondary phases which is phase Mg_2TiO_4 and there are unidentified peak. The addition of a sintering time produces grain size growth that result in large dielectric constant value on dipolar polarization and the other hand the decreasing real, imaginary, and tan delta at low frequencies. Material with largest density has high resistivity values and high real whereas conductivity, dissipation factor and dielectric loss is low. Also, the highest density has long range at frequency on dipolar polarization.

Key word : dielectric, dipolar polarization, liquid phase sintering

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, dan petunjukNya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan optimal dan tepat waktu. Sholat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW yang telah menuntuk kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran.

Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini ditulis dengan judul :

“KARAKTERISASI LISTRIK MATERIAL $\text{Mg}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{TiO}_3$ DITAMBAH V_2O_5 DENGAN VARIASI WAKTU SINTERING PADA 1100°C ”

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang membantu penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) dan proses penelitiannya baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Suasmoro yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan dan motivasi serta telah membimbing penelitian ini dengan sabar
2. Bapak Akhmad Daekhan dan Ibu Kristina yang telah sabar dan sayang kepada penulis semenjak kecil hingga sekarang
3. Adek-adek ku tercinta, Sakinatul Hidayah dan M Fahmi Ma'arif
4. Bapak Endarko, S.Si, M.Si, Ph.D yang telah membimbing penulis setiap semesternya

5. Mas Okan dan Bu Frida yang telah memberikan ilmu dan menjadi teman diskusi tentang penelitian ini
6. Teman-teman seperjuangan tim Prof. Dr. Suasmoro (Childa, Maya, Riska, Fitri, Yume, Amal, dan lain-lain)
7. Untuk sahabat-sahabatku selama belajar Jurusan Fisika (Ridlo F, Kunti N, Maya A, Adit F, Sekar A, dan M Edy S) atas motivasinya
8. Teman-teman seangkatan Foton Fisika 2011 yang menjadi keluargaku selama menjalani perkuliahan di Surabaya ini.
9. Semua pihak yang membantu secara langsung dan tidak langsung yang tidak dapat penulis tulis satu persatu

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mohon kritik dan saran yang membangun dari pembaca guna menyempurnakan laporan ini demi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa mendatang. Akhir kata penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak, terutama untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2015

Penulis
Setiawan Abdillah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Magnesium Titanat.....	5
2.2 Larutan Padat $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$	5
2.3 Vanadium Oksida (V_2O_5).....	7
2.4 Sintering	7
2.4.1 Mekanisme Atomik pada Sintering.....	8
2.4.2 <i>Liquid Phase Sintering</i>	10
2.5 Sifat Dielektrik Material.....	10

BAB III METODOLOGI.....	13
3.1 Alat dan Bahan.....	13
3.2 Prosedur Kerja.....	13
3.2.1 Sintesis $\text{Mg}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{TiO}_3$ doping V_2O_5	13
3.2.2 Uji Dilatometri	14
3.2.3 Uji XRD.....	14
3.2.4 Pengukuran Densitas dan Porositas	15
3.2.5 Uji SEM	16
3.2.6 Karakterisasi Sifat Listrik	16
3.3 Skema Penelitian.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Densifikasi.....	19
4.2 Hasil XRD.....	21
4.3 Karakterisasi Struktur Mikro.....	23
4.4 Karakterisasi Sifat Listrik.....	24
BAB V KESIMPULAN.....	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	37
BIOGRAFI PENULIS	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rekap data analisa rietica menggunakan metode Le Bail pada MZT 2 variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering *(MT= $MgTiO_3$, M2T = Mg_2TiO_4) **(Hasil Saukani, 2015).....23

Tabel 4.2 Rekap data uji listrik pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering (* data hasil pengukuran Saukani, 2015 MZT2 tanpa doping).....25

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Struktur MgTiO_3 (b) Struktur Mg_2TiO_4	6
Gambar 2.2 Vanadium(V) Oksida.....	7
Gambar 2.3 (a) Sintering fasa cair; (b) Sintering fasa padat	8
Gambar 2.4 Mekanisme atom menghasilkan (a) coarsening selain itu perubahan ukuran porositas dan (b) densifikasi	9
Gambar 2.5 Perubahan nilai permitivitas real dan permitivitas imajiner.....	11
Gambar 2.6 Mekanisme polarisasi	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	17
Gambar 4.1 Grafik dilatometri material MZT2 dengan variasi V_2O_5 dan MZT2 tanpa doping	19
Gambar 4.2 Densitas Archimedes MZT2 dengan variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering	21
Gambar 4.3 Pola difraksi sinar-x dari sampel MZT2 dengan penambahan 2%, 4%, dan 6% berat V_2O_5 pada suhu sintering 1100°C selama 4jam dan 8jam.....	22
Gambar 4.4 Struktur mikro menggunakan SEM MZT2 6% V_2O_5 4jam (a) dan 8 jam (b)	24
Gambar 4.5 Hubungan permitivitas real terhadap frekuensi pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering	27
Gambar 4.6 Hubungan permitivitas imajiner terhadap frekuensi pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering	28
Gambar 4.7 Hubungan Tan Delta terhadap frekuensi pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering	29

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi berbasis gelombang mikro memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan. Kebutuhan akan pengembangan handphone atau mobile system adalah dengan mereduksi ukuran menuntut perkembangan pesat khususnya pada dielektrik gelombang mikro. Material-material dielektrik gelombang mikro banyak tidak hanya digunakan pada handphone melainkan juga pada dielektrik resonator, filter, antena komunikasi, osilator, dan radar pada *Global Positioning System* (GPS). Perangkat-perangkat tersebut ini harus memenuhi spesifikasi yaitu konstanta dielektrik (ϵ_r) yang tinggi sehingga mampu menciptakan miniaturisasi komponen, nilai faktor kualitas (Q_f) yang tinggi sehingga mampu meningkatkan rasio frekuensi terhadap *noise* dan koefisien temperatur (ϵ_f) pada frekuensi resonansi rendah sebagai penentu stabilitas frekuensi transmisi.

Magnesium titanat berstruktur ilmenite (MgTiO_3) dengan space group R-3 H memenuhi spesifikasi tersebut. Material ini memiliki karakteristik konstanta dielektrik $\epsilon_r = 16.6$, koefisien temperatur $\epsilon_f = -41\text{ppm}/^\circ\text{C}$, nilai factor quality $Q_f = 42600$ pada frekuensi 7 Ghz (Miao et al, 2006). Bahan ini merupakan material keramik yang banyak diaplikasikan pada kapasitor, *resonator*, *filter*, *antenna*, *radar*, dan *global positioning system* (GPS) yang beroperasi pada frekuensi microwave (Huang et al, 2001).

Dalam penggunaan MgTiO_3 pada material dielektrik gelombang mikro sering digunakan elektroda Ag atau Cu yang memiliki titik leleh 950°C sebagai elektrodanya. Diketahui kebanyakan material keramik dielektrik gelombang mikro memiliki suhu sintering di atas 1300°C . Begitu juga dengan material MgTiO_3 yang memiliki suhu sintering mencapai 1350°C (Vigreux et al, 2001; Saukani, 2015). Peneliti banyak melakukan

penelitian tentang material MgTiO_3 ini dengan tujuan menurunkan suhu sintering material. Metode yang digunakan pertama adalah dengan chemical route. Metode ini menghasilkan konstanta dielektrik yang bagus dan suhu sintering yang rendah. Tetapi dibutuhkan biaya yang lebih mahal dan waktu yang banyak. Metode yang kedua adalah metode liquid-phase sintering menggunakan adisi *material glass* yang secara efektif menurunkan suhu sintering tetapi menurunkan sifat dielektrik dari material tersebut. Penelitian sebelumnya V_2O_5 , Bi_2O_3 dan *material glass* yang sering digunakan (Pan et al, 2010). Metode yang lain adalah menambahkan dopan yang memiliki titik leleh yang lebih rendah ke dalam material keramik (Huang et al, 2002; Saukani, 2015).

Pada penelitian sebelumnya material MgTiO_3 dilakukan dengan beberapa metode dimana salah satu metode yang berhasil memberikan hasil ukuran nano partikel adalah metode sol-gel dan metode *wet mixing* (Istihanah et al, 2011; Huang et al, 2008). Agar pertumbuhan butir tidak tinggi maka suhu sintering harus diturunkan sehingga dengan ukuran butir yang kecil dapat meningkatkan konstanta dielektrik (Saukani, 2015). Maka dilakukan penelitian dengan tujuan menurunkan suhu sintering MgTiO_3 dilakukan dengan menggunakan variasi zat aditif *glass* menggunakan V_2O_5 . Pada penelitian ini juga material MgTiO_3 dilakukan pendopingan dengan atom Zn dengan menggunakan metode pencampuran larutan (*wet mixing*).

1.2 Rumusan Permasalahan

Rumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah densifikasi sampel, densitas sampel, struktur mikro sampel, dan karakteristik sifat dielektrik frekuensi 1Hz – 32MHz pada sampel $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ (MZT2) dengan penambahan 2wt%, 4wt%, dan 6wt% V_2O_5 dan variasi *holding sintering* pada suhu 1100°C selama 4jam dan 8jam.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengamati proses densifikasi MZT2 dengan penambahan 2wt%, 4wt%, dan 6wt% V_2O_5 , menghitung densitas MZT2 dengan variasi *holding time sintering* 4jam dan 8jam, mengetahui perkembangan ukuran butir sampel MZT2 pada berbagai *holding time*, dan mempelajari karakteristik sifat dielektrik MZT2 dengan aditif V_2O_5 pada frekuensi 1Hz – 32MHz.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas pada penelitian karakterisasi material MZT2 dengan penambahan 2wt%, 4wt%, dan 6wt% V_2O_5 analisa analisa kuantitatif dan kualitatif fasa-fasa dari material menggunakan Match2! dan Reitica, analisa grafik dilatometri variasi doping V_2O_5 , analisa kuantitatif pengukuran densitas menggunakan metode Archimedes, analisa hasil SEM, dan karakterisasi sifat listrik material.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah memberikan informasi tentang material MZT2 doping V_2O_5 variasi suhu sintering 1100°C selama 4jam dan 8jam yang terdiri dari densitas, ukuran grain, konstanta dielektrik, konduktivitas listrik, *dielectric loss*, dan factor disipasi dielektrik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

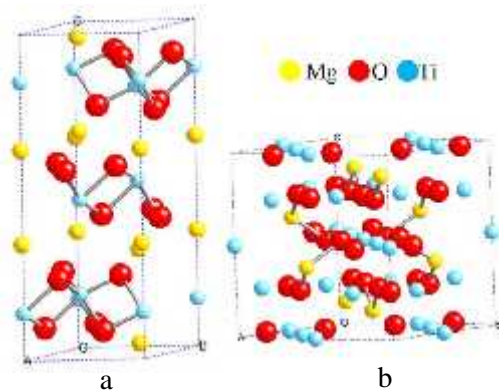
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Magnesium Titanat

Magnesium titanium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari magnesium, titanium dan oksigen dengan rumus kimia MgTiO_3 dan nama mineralnya adalah magnesium titanat (*Geikielite*). Magnesium titanat (MT) memiliki banyak aplikasi menarik, khususnya yang berkaitan dengan sifat dielektrik bahan. MgTiO_3 dimanfaatkan sebagai chip kapasitor, kapasitor frekuensi tinggi dan kapasitor kompensasi suhu, *resonator*, *filter*, antena komunikasi, radar, pengatur satelit *broadcasting*. Ditinjau dari aspek kestabilan termodinamik, MT memiliki beberapa jenis fase yaitu fase stabil MgTiO_3 (*Geikielite*), fase MgTi_2O_5 (*Pseudobrookite*) dan Mg_2TiO_4 (*Spinel*) (Cheng, 1997). Sifat fisis dari MgTiO_3 antara lain, sistem kristal trigonal (*hexagonal axes*) titik leleh 1610°C , berat molekul 120,18gr/mol, densitas 4 g.cm^{-3} , kerugian dielektrik 17, koefisien temperatur $-45\text{ppm}/^\circ\text{C}$. MgTiO_3 memiliki space group R -3 (148) dan memiliki parameter kisi $a=b=5.0548 \text{ \AA}$, $c=13.8992 \text{ \AA}$. Sedangkan untuk Mg_2TiO_4 memiliki space group F d -3 m (227), struktur kristal kubik dan memiliki parameter kisi $a=b=c= 8.4376 \text{ \AA}$.

Material ini memiliki karakteristik konstanta dielektrik $\epsilon_r = 16.6$, koefisien temperature $\epsilon_f = -41\text{ppm}/^\circ\text{C}$, nilai factor quality $Q_f = 42600$ pada frekuensi 7 Ghz (Miao et al, 2006). Pemanfaatan material ini banyak diaplikasikan pada kapasitor, resonator, filter, antenna, radar, dan *global positioning system* (GPS) yang beroperasi pada frekuensi microwave (Huang et al, 2001). Sintesis material ini dapat dilakukan menggunakan metode Sol-Gel (Huan Ping et al, 2012; Ya Mei et al, 2006), Solid State reaction (Zhang et al, 2012; Shen et al, 2010), dan metode *wet-mixing* (Istihanah, 2011; Ermawati, 2012). Dengan metode *wet mixing* dan *sol-gel* didapatkan hasil partikel berukuran nano.



Gambar 2.1 (a) Struktur MgTiO_3 (b) Struktur Mg_2TiO_4

2.2 Larutan Padat $\text{Mg}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{TiO}_3$

Larutan padat adalah campuran homogen yang terdiri dari dua atau lebih jenis atom dimana terjadi didalam keadaan padat. Larutan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu zat terlarut (*solute*) dan zat pelarut (*solvent*). Dimana zat terlarut jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan zat pelarut. Jika ditinjau dari posisi atom terlarutnya maka larutan pada dibagi menjadi :

1. Larutan substitusi, dimana atom-atom terlarut berukuran sama dengan atom-atom pelarut. Akibatnya atom-atom terlarut menggantikan posisi atom pelarut. Perbedaan ukuran atom tersebut harus kurang dari 15%
2. Larutan interstisi, dimana atom terlarut memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan atom pelarut. Selisih kedua atom harus lebih besar dari 15%. Akibatnya atom terlarut memasuki rongga-rongga diantara atom pelarut.

Pada penelitian ini, digunakan larutan pada substitusi atom Zn ke atom Ti. Karakteristik atom Zinc memiliki nomor atom 30 dan massa atom 65,39 amu. Titik leleh nya sebesar $419,58^\circ\text{C}$ sedangkan titik uapnya sebesar $907,0^\circ\text{C}$. Jari-jari ion Zn 142pm (www.periodictable.com). Pada material MgTiO_3 ,

besar jari-jari Zn mendekati dengan atom Mg sebesar 145pm (www.periodictable.com). Kemungkinan besar terjadi larutan padat ketika dilakukan doping Zn ke dalam Mg. penambahan Zn ke dalam MgTiO_3 dapat meningkatkan nilai Qf. Selain itu penambahan atom Zn dapat menurunkan suhu kalsinasi hingga mencapai 550°C (Ermawati, 2012).

2.3 Vanadium Oksida (V_2O_5)

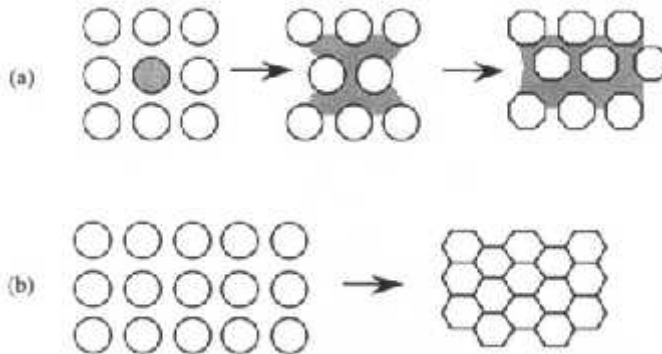
Vanadium(V) oxide (vanadia) adalah senyawa bukan organik dengan formula V_2O_5 . Biasanya disebut juga dengan *Vanadium Pentoksida* ini berwarna kuning agak orange. Massa molekul nya sebesar 181,88 g/mol dengan densitas sebesar 3,357 g/mol. Titik leleh sebesar 690°C dan titik didih mencapai 1750°C . Struktur Kristal bahan ini adalah orthorhombic dengan konstanta kisi sebesar $a = 1151\text{pm}$, $b = 355,9\text{pm}$, dan $c = 437,1\text{pm}$. Penambahan adisi V_2O_5 pada MgTiO_3 dapat meningkatkan densitas dan karakteristik listrik. (Huang, 2008). Jari-jari V adalah sebesar 171pm (www.periodictable.com) dimana memungkinkan terjadinya substitusi menggantikan atom Ti yang memiliki jari-jari 176pm (www.periodictable.com). Persamaan substitusi tersebut dapat ditulis.



Gambar 2.2 Vanadium(V) Oksida

2.4 Sintering

Sintering adalah semua perubahan dalam bentuk suatu partikel kecil atau kumpulan partikel yang memiliki komposisi sama ketika ditahan dalam temperatur yang tinggi. Tujuan sintering ini adalah untuk mendapatkan densitas yang tinggi pada suatu material. Banyak penelitian yang mencari suhu terendah dalam sintering untuk mendapatkan densitas yang mendekati densitas teoritis. Sintering itu sendiri dibagi menjadi dua yaitu sintering keadaan padat dan sintering fasa cair yang ditunjukkan dengan adanya fasa cair.



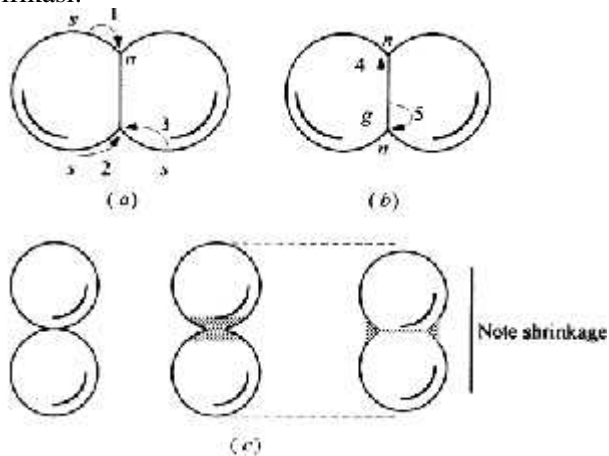
Gambar 2.3 (a) Sintering fasa cair; (b) Sintering fasa padat

2.4.1 Mekanisme Atomik pada Sintering

Secara garis besar terjadi 5 mekanisme yang mana massa dapat ditransferkan didalam padatan serbuk :

1. Evaporasi dan kondensasi (panah 1 pada Gambar 2.4 (a))
2. Difusi permukaan (panah 2 pada Gambar 2.4 (a))
3. Difusi volume. Dimana ada dua jalan yaitu dapat ditransferkan dari permukaan ke daerah *necking* (panah 3 pada Gambar 2.4 (a)) atau dari batas butir ke daerah *necking* (panah 5 pada Gambar 2.4 (a))
4. Difusi batas butir dari area batas butir ke dalam daerah *necking* (panah 4 pada Gambar 2.4 (a))

5. Timbul lekatan. Mekanisme ini memerlukan deformasi plastis dan aliran viskos partikel dari daerah yang memiliki stress yang tinggi ke stress yang rendah dan menghasilkan densifikasi.



2.4 Mekanisme atom menghasilkan (a) coarsening selain itu perubahan ukuran porositas dan (b) densifikasi

Mekanisme yang bersumber dari permukaan partikel dan berujung dengan proses *necking* tidak dapat menghasilkan densifikasi. Dikarenakan mekanisme tersebut tidak melibatkan pusat partikel mendekat secara bersamaan. Mekanisme di atas tidak menghasilkan pemadatan. Proses tersebut menghasilkan perubahan bentuk porositas, pertumbuhan ukuran *necking*, dan meningkatkan kekuatan padatan.

Gaya pendorong (*driving force*) di semua keadaan berbeda tergantung dengan variasi jarak tempuhnya. Seperti pada Gambar 2.4 (a) yaitu tekanan sebagian (*partial pressure*) pada titik s lebih besar dibandingkan titik n, yang mana menghasilkan transfer massa dari permukaan cembung ke permukaan cekung.

Densifikasi terjadi jika sumber dari difusi material adalah batas butir atau daerah antara partikel serbuk dan didalamnya

harus ada *neck* atau daerah porositas. Dapat di gambarkan pada Gambar 2.4 (c). (Barsoum, 2003)

2.4.2 Liquid Phase Sintering

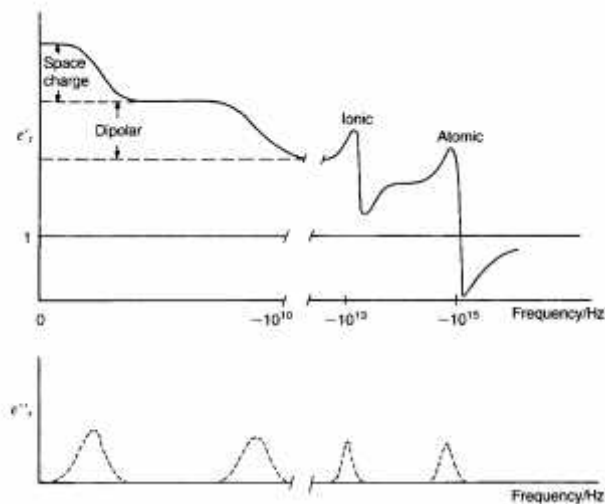
Sintering dapat terjadi dengan adanya fasa cair (*liquid phase*). Penyusutan pada perlakuan panas sintering fasa cair menunjukkan 3 bagian :

1. Aliran cair dan pengaturan *grain*. Ketika bentuk cair terbentuk, proses yang terjadi adalah aliran air, yang mana mengatur grain agar tertata dengan rapi. Larutan tersebut mengurangi kekasaran permukaan grain dan juga mengurangi partikel-partikel kecil. Pengaturan partikel-partikel kecil terbatas pada sintering fasa cair tetapi hal ini dapat terbentuk densifikasi yang sempurna jika fasa cair tersebut cukup.
2. Pengendapan larutan. Daya larut dari padatan pada larutan bertambah. Perpindahan materi diikuti dengan pengendapan di energi yang rendah menghasilkan densifikasi.
3. Perkembangan tulang padatan (*solid skeleton*). Fasa cair berkurang secara berangsur-angsur selama pembentukan formasi dari kristal yang baru atau larutan padat. Pengurangan porositas pada sintering fasa cair memiliki kemiripan dengan sintering fasa padat. (Boch dan Niepce, 2007)

2.5 Sifat Dielektrik Material

Polarisasi terjadi pada keramik ketika suatu medan listrik mengenai suatu material. Atom-atom yang ada pada keramik akan bergeser sesuai dengan arah medan listrik yang diberikan. Muatan yang bermuatan negatif cenderung bergerak berlawanan arah dengan medan listrik dan begitu juga sebaliknya. Proses pergeseran atom-atom ini menghasilkan dipol-dipol yang dikenal

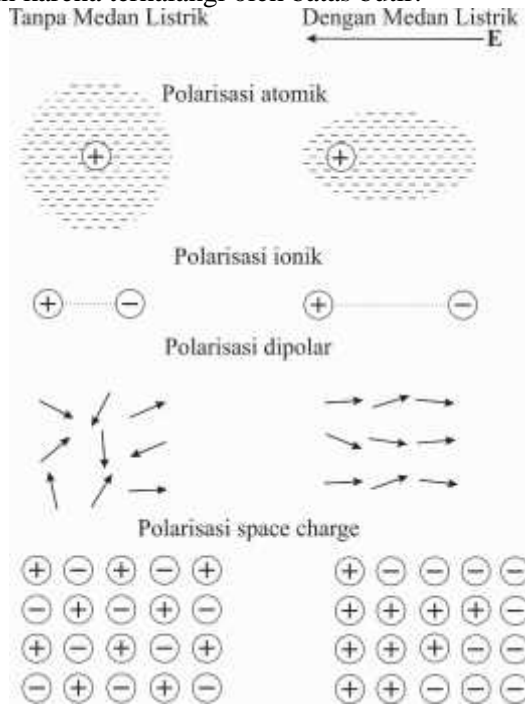
dengan polarisasi. Polarisasi pada material dielektrik dapat dibagi menurut frekuensi gelombang listrik yang diberikan pada material, antara lain : polarisasi atomik, polarisasi dipolar, dan polarisasi muatan ruang. Gambar 2.4 menunjukkan perubahan permitivitas suatu material dielektrik jika diberikan frekuensi yang berbeda-beda. Gambar atas menunjukkan polarisasi yang terjadi ketika frekuensi medan listrik berbeda diberikan. Gambar bawah menunjukkan puncak debye pada berbagai frekuensi untuk berbagai jenis polarisasi. (Moulson, 2003)



Gambar 2.5 Perubahan nilai permitivitas real dan permitivitas imajiner

Polarisasi dari atom atau ion dalam satu unit sel dapat dibagi menjadi beberapa bagian. Pertama, polarisasi atomic atau dikenal dengan polarisasi elektron yaitu merupakan perubahan pusat gravitasi dari awan electron terhadap nucleus dalam medan listrik. Kedua, polarisasi ionic yaitu merupakan perpindahan dari suatu ion terhadap posisi kesetimbangannya baik ion negatif maupun ion positif. Ketiga, polarisasi dipolar yaitu merupakan perubahan orientasi dari dipol permanen karena adanya medan listrik. Dan yang keempat adalah polarisasi *space charge* yaitu

merupakan polarisasi yang berasal dari muatan yang bergerak diakibatkan karena terhalangi oleh batas butir.



Gambar 2.6 Mekanisme polarisasi.

Faktor kehilangan (*loss factor*) merupakan kriteria yang penting dan berguna pada dielektrik yang digunakan sebagai material insulator. *Loss factor* pada material dielektrik ditunjukkan dari persamaan berikut

$$\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon' \quad (2.1)$$

Energy yang hilang (*energy loss*) pada material keramik merupakan hasil perkalian antara konstanta dielektrik dan tangen dari δ . Sering digunakan invers dari $\tan \delta$, $Q = 1/\tan \delta$, disebut dengan factor Q. (Kingery, 1976)

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat Gelas beaker, *hotplate stirrer Ciramec*, *magnetic stirrer bar*, Timbangan digital *O'haus PA214*, Tisu, Mortar, Spatula, Termometer, Furnace *Carbolite*, etanol 87%, Difraktometer Sinar X *Philips*, Dilatometer *Linseis L75*, SEM-EDX *EVO® MA10*, *Planetary ball mill Pulverisette 5*, bola zirconia, Particle Size Analyzer *Zetasizer*, *RCL-Fluke PM306*, Perangkat Lunak *Reitica*, *High Score Plus* dan *MAUD*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk Titanium (Ti) (Merck, 112379), serbuk Magnesium (Mg) (Merck, 105815), serbuk Zinc (Zn) (Merck, 108789), Asam Chlorida (HCl) (LIPI, HCl 37%), Vanadium Oksida (V_2O_5), Silver Conductive Paste (Ag) (Aldrich, 735825) dan alcohol.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Sintesis $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ doping V_2O_5

Telah dilakukan penelitian oleh Saukani et al (2015) dengan melakukan optimasi Mg untuk mendapatkan fasa tunggal $MgTiO_3$ dengan doping Zn. Penelitian tersebut menghasilkan optimasi Mg dengan perbandingan fraksi berat Zn : Mg : Ti = 0,2 : 1,265 : 1. Sintesis dilakukan dengan melarutkan 0,06421 gram serbuk Mg ke dalam 17,1227 ml HCl selama 1 jam, melarutkan 0,2731 gram Zn ke dalam 4,0612 ml HCl selama 0,5jam, dan melarutkan 1 gram Ti ke dalam 16 ml HCl selama 2,5 jam dengan suhu 65°C. Pelarutan ini menggunakan *hotplate stirrer Ciramec*, glass beaker dan *magnetic stirrer bar* untuk pengadukannya. Ketiga larutan tersebut menghasilkan larutan $MgCl_2$, $TiCl_2$, dan $ZnCl_2$. Ketiga larutan tersebut dicampur menjadi satu dan diaduk dalam *magnetic stirrer* selama 5 jam pada suhu ruang. Larutan

kemudian dikeringkan dengan menaikkan suhu *magnetic stirrer* menjadi 110°C hingga terbentuk endapan kering di *glass beaker*. Serbuk dapat diambil dengan mengeruk menggunakan spatula pada *glass beaker*. Serbuk lalu digerus menggunakan mortar kemudian dilakukan kalsinasi dengan suhu 550°C selama 4 jam. Kalsinasi dilakukan menggunakan crucible dengan tiap crucible hanya dilakukan kalsinasi sebanyak 3 gram serbuk. Serbuk MZT2 hasil kalsinasi dilakukan milling dengan zat aditif V_2O_5 menggunakan variasi persen berat 2%, 4%, dan 6%. *Milling* menggunakan *planetary milling* dilakukan selama 1 jam dengan kecepatan 150rpm. Hasil *milling* dilakukan evaporasi untuk menghilangkan alcohol. Serbuk MZT2 dengan V_2O_5 dibentuk pellet bentuk balok ukuran 2 x 2 x 20 mm dan pellet berbentuk silinder ukuran 13,40 x 2,95 mm dengan tekanan 35 MPa.

3.2.2 Uji Dilatometri

Uji dilatometri bertujuan untuk mengetahui daerah penyusutan yang menjadi acuan untuk dilakukan sintering. Sampel yang diuji dilatometri adalah sampel $Mg_{0,8}Zn_{0,2}TiO_3$ dengan penambahan 2-6wt % V_2O_5 . Pellet berbentuk balok disiapkan untuk pengujian dengan rentang suhu ruang hingga suhu 1300°C dengan rate $\frac{1}{16,7} ^\circ C/detik$.

3.2.3 Uji XRD

Pengujian dengan XRD dilakukan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk dari hasil sintesis. Dari pola difraksi dapat diperkirakan ada tidaknya fasa kristal atau masih amorf. Fasa kristal ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak difraksi sedangkan fasa amorf ditunjukkan dengan pola difraksi yang berbentuk punuk atau intensitas latar yang tidak teratur. Pellet silinder MZT2 dengan doping V_2O_5 dilakukan sintering dengan suhu 1100°C dengan variasi waktu tahan 4jam dan 8jam. Pellet tersebut lalu dilakukan uji XRD dengan sudut pengukuran 2θ

sebesar 15° sampai 65° . Hasil XRD dilakukan pengamatan secara kualitatif dengan menggunakan Match2! untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk lalu dilakukan analisa kuantitatif menggunakan rietica untuk mengetahui persentase fasa-fasa yang terbentuk, mengetahui ukuran parameter kisi, dan mengetahui densitas teoritis.

3.2.4 Pengukuran Densitas dan Porositas

Pengujian densitas porositas ini menggunakan metode Archimedes. Seluruh sampel pellet silinder MZT2 dengan doping V_2O_5 ditimbang massa kering sampel (m_{kering}). Lalu sampel dimasukan kedalam air dan diamkan sebentar sampai tidak ada gelembung di permukaan sampel. Hal ini diasumsikan bahwa air tersebut telah mengisi seluruh porositas yang ada di dalam permukaan sampel. Sampel diangkat lalu dibersihkan air disekitar permukaan sampel menggunakan tisu yang telah di basahi. Hal ini dilakukan agar air yang berada di porositas permukaan sampel tidak terangkat. Sampel ditimbang setelah dilakukan pengeringan (m_{basah}). Lalu sampel dilakukan penimbangan didalam air untuk mengetahui massa sampel dalam air ($m_{dalam\ air}$). Densitas Archimedes dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\rho_{sampel} = \frac{m_{kering}}{m_{basah} - m_{dalam\ air}} \times \rho_{air} \quad (3.1)$$

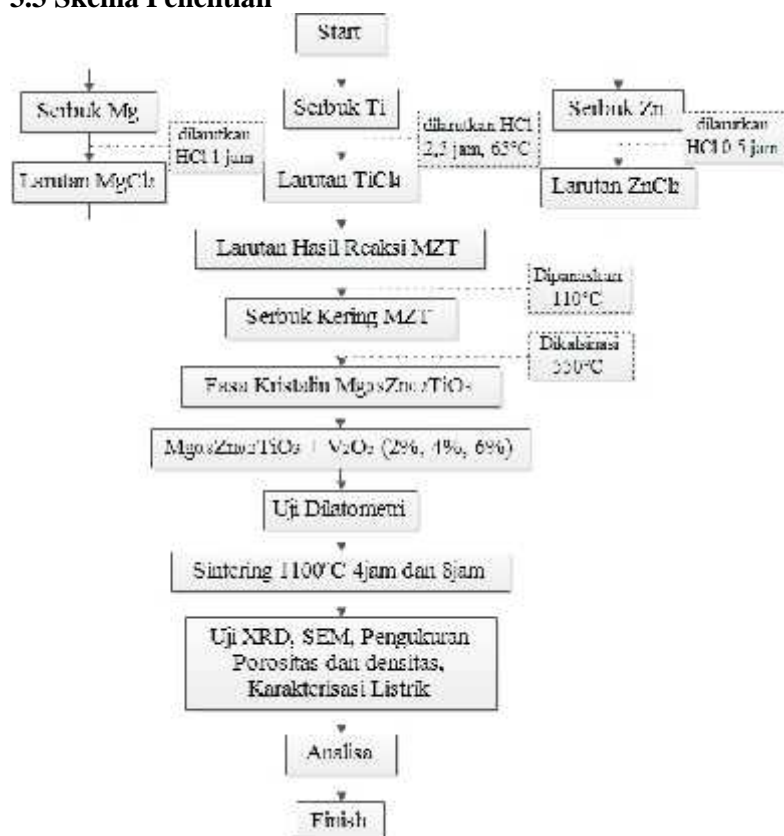
3.2.5 Uji SEM

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Tujuan dilaksanakannya uji SEM dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro pada sampel yang telah disintering, dengan penambahan V_2O_5 . Sampel bentuk pellet silinder salah satu permukaan dihaluskan dengan serbuk alumina sampai mengkilat. Lalu sampel di panaskan dengan suhu 1000°C selama 5 menit. Sampel diamati ukuran butir menggunakan alat SEM-EDX *EVO® MA10*. Ukuran butir dapat dihitung menggunakan metode *Cross Section Grain Size* (Lord, 2013)

3.2.6 Karakterisasi Sifat Listrik

Pengukuran ini untuk mengetahui permitivitas real pada material, mengetahui daerah terjadi perubahan polarisasi space charge ke polarisasi dipolar, dan untuk mengetahui konduktivitas suatu material. Metode yang digunakan dengan menggunakan plat sejajar pada sampel. Plat sejajar tersebut dibuat dengan memoleskan pasta perak yang telah dilarutkan pada toluena secara merata pada kedua permukaan sampel. Lalu dipasangkan kabel elektroda dan dikeringkan dengan suhu 450°C selama 10 menit untuk menghilangkan toluena tersebut. Pengukuran ini digunakan arus AC 0,5V dengan range frekuensi 1Hz hingga 32MHz.

3.3 Skema Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir pada penelitian

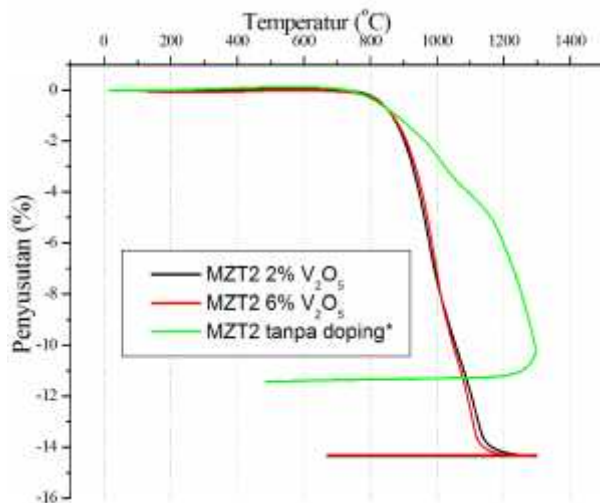
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Densifikasi

Material $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ (MZT2) disintesis menggunakan metode *wet-mixing* (pencampuran larutan). MZT2 dilakukan sintering dengan suhu rendah agar ukuran partikel dapat dipertahankan. Salah satu metode untuk menurunkan suhu sintering adalah dengan penambahan fasa cair ke dalam MZT2. Material yang digunakan sebagai fasa cair pada penelitian ini adalah V_2O_5 .

Dilakukan uji dilatometri untuk mengetahui perbedaan zona penyusutan material MZT2 dengan variasi V_2O_5 . Variasi persen berat yang digunakan antara lain 2%, dan 6% V_2O_5 yang memiliki titik leleh pada suhu 690°C .



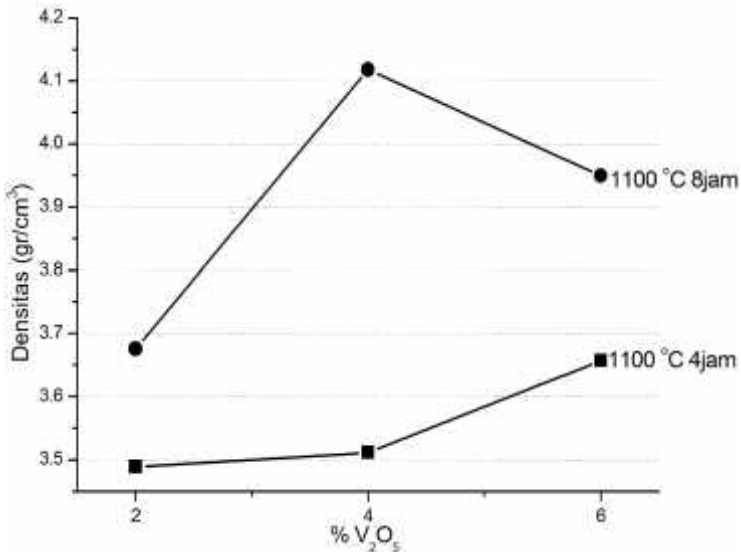
Gambar 4.1 Grafik dilatometri material MZT2 dengan variasi V_2O_5 dan MZT2 tanpa doping (Saukani, 2015)

Uji dilatometri ini dilakukan pada suhu ruang hingga suhu 1300°C . Pada material MZT2 2% mulai mengalami penyusutan pada suhu 730°C dan terjadi perlambatan pada suhu

1000°C yang dapat dilihat dengan perubahan gradien pada suhu tersebut. Material MZT2 2% mempunyai penyusutan maksimal mencapai 14,34%. Pada suhu 1048°C terjadi percepatan penyusutan. Pada material MZT2 6% sudah terjadi penyusutan yang lambat pada 37°C. Pada suhu 757°C, material ini mengalami penyusutan konstan mencapai 14,30%. Terjadi perubahan penyusutan pada material akibat adanya doping V_2O_5 . Material tanpa doping mengalami penyusutan pada suhu 770°C hingga suhu 1300°C sebesar 10,5%. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa penyusutan lebih cepat jika material ditambahkan dengan aditif V_2O_5 . Mempertimbangkan adanya daerah penyusutan tersebut, maka diambil suhu sintering pada suhu 1100°C dengan dilakukan variasi waktu tahan 4 jam dan 8 jam.

Seluruh variasi sampel yang telah di sintering dilakukan pengukuran densitas menggunakan metode archimedes seperti pada Persamaan 3.1. Hasil pengukuran densitas disajikan pada Gambar 4.2 terlihat bahwa material yang mempunyai waktu sintering yang lama, akan memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan material yang memiliki waktu sintering yang rendah. Material MZT2 4% memiliki densitas Archimedes mencapai 4,12gr/cm³.

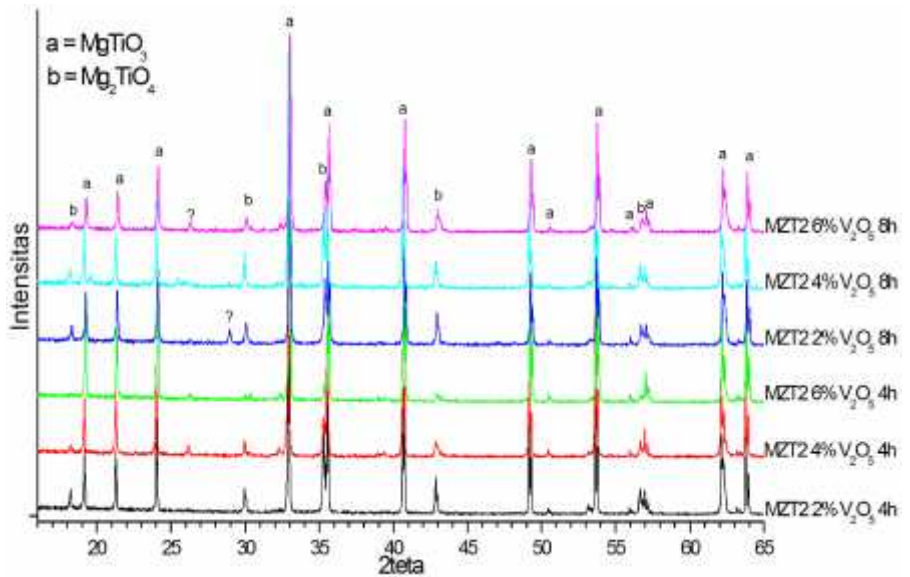
Jika ditinjau dengan hasil XRD pada Gambar 4.3, puncak fasa sekunder pada variasi 4% 8jam lebih tinggi dibandingkan dengan 6% 8jam. Diketahui densitas fasa $MgTiO_3$ (#96-901-1262) adalah 3.893g/cm³ sedangkan densitas fasa Mg_2TiO_4 (#96-901-3399) adalah 3.541g/cm³. Selain itu pada variasi 6% 8jam terjadi puncak yang tidak diketahui dimana pada variasi 4% 8jam tidak terbentuk puncak yang tidak diketahui sehingga kemungkinan fasa yang tidak diketahui mengurangi besar densitas pada variasi 6% 8jam.



Gambar 4.2 Densitas Archimedes MZT2 dengan variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering.

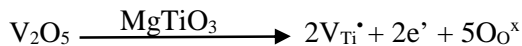
4.2 Hasil XRD

Hasil analisis dengan software match! Didapatkan beberapa fasa yaitu Geikielite $MgTiO_3$ (#96-901-1262) dan Qandilite Mg_2TiO_4 (#96-901-3399). Pada sudut sebesar 26.16 terbentuk puncak yang tidak diketahui fasa apa yang terbentuk. Puncak fasa ini terjadi pada pada material dengan variasi doping V_2O_5 yang tinggi. Dikarenakan jari-jari kedua atom hampir sama yaitu jari-jari Ti 176pm sedangkan jari-jari atom V 171pm (www.periodictable.com). Secara keseluruhan, semua variasi timbul fasa sekunder Qandilite. Tetapi dilihat dari intensitas puncak-puncaknya, pada variasi MZT2 4% V_2O_5 8jam, memiliki persentase fasa sekunder yang paling rendah.



Gambar 4.3 Pola difraksi sinar-x dari sampel MZT2 dengan penambahan 2%, 4%, dan 6% berat V₂O₅ pada suhu sintering 1100°C selama 4jam dan 8jam.

Hasil uji XRD dilakukan *refinement* menggunakan Rietica menggunakan metode Le Bail ditampilkan pada tabel 4.1. Material uji MZT2 tanpa doping pada tabel didapatkan pada penelitan Saukani 2012 dengan menggunakan suhu sintering 1100°C selama 4jam. Setelah dilakukan doping V₂O₅, terjadi perubahan ukuran sel pada MZT2. Perubahan ini dikarenakan atom Ti digantikan oleh atom V yang memiliki jari-jari lebih kecil. Akibatnya ukuran sel MZT2 berkurang. Substitusi atom V dapat dituliskan sebagai berikut.



Karena Ti dan V memiliki elektron valensi yang berbeda, kemungkinan fasa baru yang terbentuk mempengaruhi besar konstanta dielektrik material.

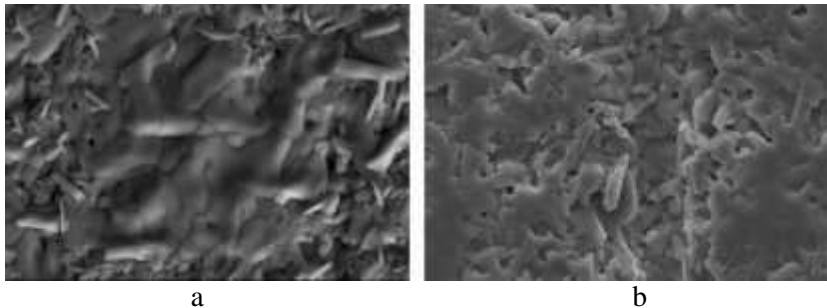
Tabel 4.1 Rekap data analisa Rietica menggunakan metode Le Bail pada MZT 2 variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering *(MT= $MgTiO_3$, M2T = Mg_2TiO_4) *(Saukani, 2015)

Variasi	Phase	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Cell Volume (Å ³)
MZT2 setelah kalsi*	MT	5.07		13.94	309.85
	M2T	-			-
2% 4h	MT	5.06		13.91	307.96
	M2T	8.44			601.67
4% 4h	MT	5.06		13.91	307.96
	M2T	8.44			600.80
6% 4h	MT	5.05		13.90	307.64
	M2T	-			-
2% 8h	MT	5.05		13.9	307.71
	M2T	8.44			601.27
4% 8h	MT	5.05		13.9	307.51
	M2T	8.44			600.7
6% 8h	MT	5.05		13.9	307.55
	M2T	8.44			600.48

4.3 Karakteristik Struktur Mikro

Analisa data SEM pada penelitian menggunakan metode *Cross Section Grain Size*. Dengan menggunakan metode tersebut, variasi MZT2 6% V_2O_5 4jam didapatkan ukuran rata-rata grain sebesar 2.49 μm . Pada Gambar 4.4 terlihat terbagi 2 populasi yaitu ukuran grain yang besar pada bagian tengah dan grain kecil pada bagian pinggir. Fasa sekunder Mg_2TiO_4 memiliki ukuran pipih balok memanjang. Kemungkinan besar *grain* yang kecil merupakan fasa sekunder sedangkan fasa $MgTiO_3$ berada di bagian tengah. Begitu juga dengan material MZT2 6% V_2O_5 8jam

dimana terjadi dua populasi. Pada variasi ini didapatkan ukuran *grain* rata-rata sebesar $2.94\mu\text{m}$. Terjadi perubahan ukuran *grain* dikarenakan waktu tahan sintering diperpanjang. Hal ini dikarenakan terjadi pertumbuhan butir yang lebih lama sehingga ukuran *grain* lebih besar. Jika dilihat porositas material, material 8jam memiliki porositas yang kecil dibandingkan dengan 4jam. Hal ini dilihat dari *grain* yang ukuran kecil dimana pada 8jam, *grain-grain* kecil bergabung sedangkan pada 4 jam, *grain-grain* kecil tersebut menghasilkan banyak porositas. Jika ditinjau dari karakterisasi listriknya, material 8jam memiliki nilai konstanta dielektrik yang lebih besar dibandingkan dengan 4jam. Hal ini dikarenakan banyaknya porositas pada material 4jam yang mengakibatkan polarisasi panjang (*long polarization*) sehingga menurunkan nilai konstanta dielektrik.



Gambar 4.4 Struktur mikro menggunakan SEM MZT2 6% V_2O_5 4jam (a) dan 8 jam (b)

4.4 Karakterisasi Sifat Listrik

Material MZT2 merupakan material dengan struktur ilmenit MgTiO_3 dimana merupakan turunan dari struktur alumina Al_2O_3 . Atom Al diganti oleh Mg dan Ti yang mana Mg bermuatan $2+$ dan Ti bermuatan $4+$. Akibatnya didalam material ini timbul dipol atomik. Ketika MZT2 diberikan medan listrik, timbulah polarisasi dipolar. Polarisasi dipolar ini diakibatkan oleh adanya adanya atom Mg dan Ti yang memiliki muatan yang berbeda sehingga timbul dipol. Pada pengukuran uji listrik,

dilakukan pada frekuensi 1Hz – 32MHz dimana dilakukan untuk mengetahui pada frekuensi berapa terjadi perubahan polarisasi dipolar ke polarisasi *space charge*. Ketika frekuensi medan listrik dikurangi, polarisasi dipolar akan berubah menjadi polarisasi *space charge*. Polarisasi *space charge* terjadi pada muatan listrik yang tidak terikat yaitu pada batas butir (*grain boundary*) dan ruang kosong (*cavity*).

Tabel 4.2 Rekap data uji listrik pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering (*data hasil pengukuran Saukani, 2015 MZT2 tanpa doping)

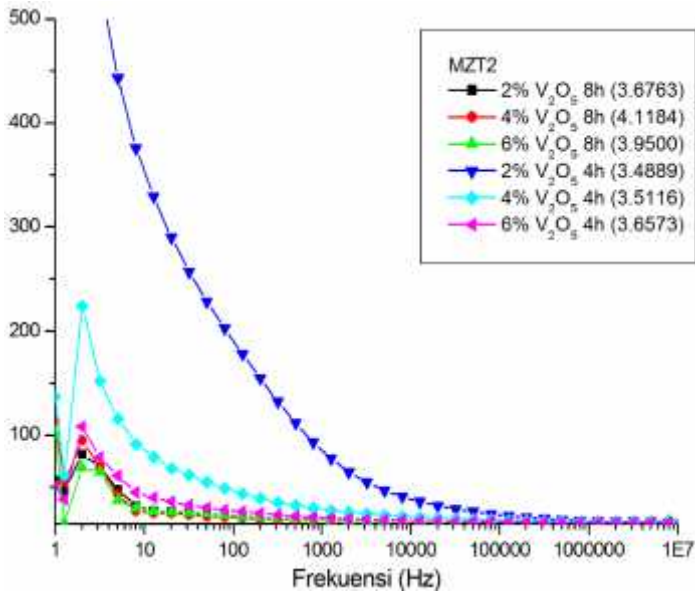
Variasi	Resistivitas (mm.ohm)	Konduktivitas (1/mm.ohm)	real rata2	real + 10%	Freq max (MHz)	Freq Min (KHz)	Densitas Archime- des (gr/cm ³)
2% 4h	2.18×10^6	4841.55×10^{-10}	16.23	17.85	2.02×10^7	1.27×10^6	3.49
4% 4h	141.33×10^6	131.53×10^{-10}	17.19	18.91	2.02×10^7	320000	3.51
6% 4h	42.61×10^6	304.35×10^{-10}	16.86	18.55	2.02×10^7	5071.658	3.66
2% 8h	98.11×10^6	110.07×10^{-10}	17.17	18.89	2.02×10^7	1273.943	3.68
4% 8h	2047.57×10^6	5.01×10^{-10}	17.26	18.99	2.02×10^7	507.1658	4.12
6% 8h	481.40×10^6	38.26×10^{-10}	17.24	18.96	5.07×10^6	1273.943	3.95
MZT2 ^{*)}	0.07×10^6	$157000.00 \times 10^{-10}$	12.29	12.60	2.02×10^7	3.2×10^6	2.94

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat pada rentang berapa material mengalami daerah konstan nilai permitivitas realnya atau mengalami polarisasi dipolar. Material dengan waktu tahan sintering yang lama, memiliki permitivitas real yang besar dibandingkan dengan waktu sintering yang rendah. Selain itu pada material variasi 8 jam mempunyai range polarisasi dipolar yang lebih dibandingkan dengan variasi 4 jam. Peningkatan waktu tahan sintering, dapat meningkatkan densitas suatu material. Selain itu partumbuhan butir akan berlangsung lebih lama sehingga terjadi kenaikan ukuran butir. Dimana ketika proses sintering terjadi pengurangan besar porositas. Porositas yang besar menghasilkan densitas yang kecil. Porositas dapat

mengurangi besar polarisasi dipolar. Akibatnya densitas yang kecil memiliki nilai permitivitas yang rendah.

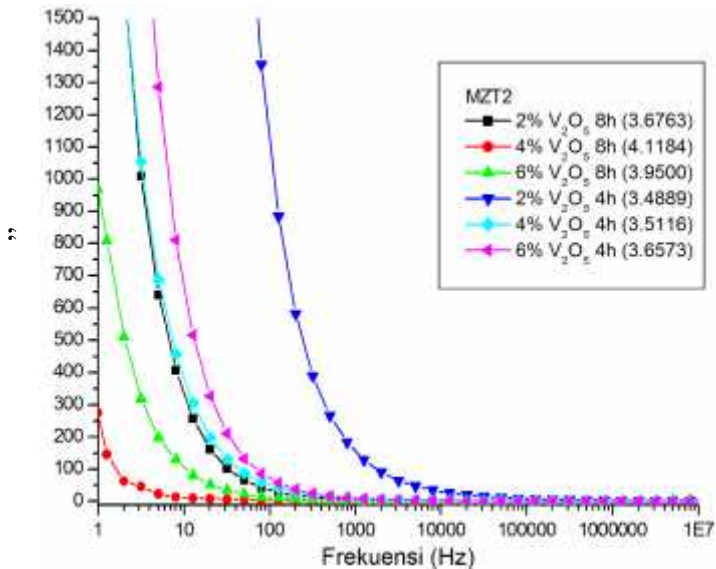
Konduktivitas listrik material MZT2 dengan variasi doping V_2O_5 ditampilkan pada tabel 4.2 menunjukkan material dengan densitas yang tinggi memiliki konduktivitas yang rendah. Berbanding terbalik dengan resistivitasnya yang besar. Material dengan densitas yang besar, memiliki porositas yang rendah. Tetapi kerapatan *grain* didalam material tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan material dengan densitas rendah. Ketika kedua material tersebut diberi medan listrik, elektron yang bergerak pada material lebih rapat akan lebih lambat dibandingkan dengan material yang kurang rapat. Besaran konstanta dielektrik material ini juga dipengaruhi oleh adanya fasa sekunder baik Mg_2TiO_4 maupun fasa yang tidak diketahui. Dikarenakan polarisasi dipolar antara Mg dan Ti bisa digantikan oleh adanya polarisasi dipolar antara Mg dan V. Diketahui Ti memiliki muatan 4+ dan V memiliki muatan 5+.

Dari hasil uji listrik, didapatkan hasil optimum dengan densitas terbesar pada variasi 4% V_2O_5 selama 8jam dengan densitas sebesar 4.12gr/cm^3 , konstanta dielektrik 17.26, dan Q sebesar 135.



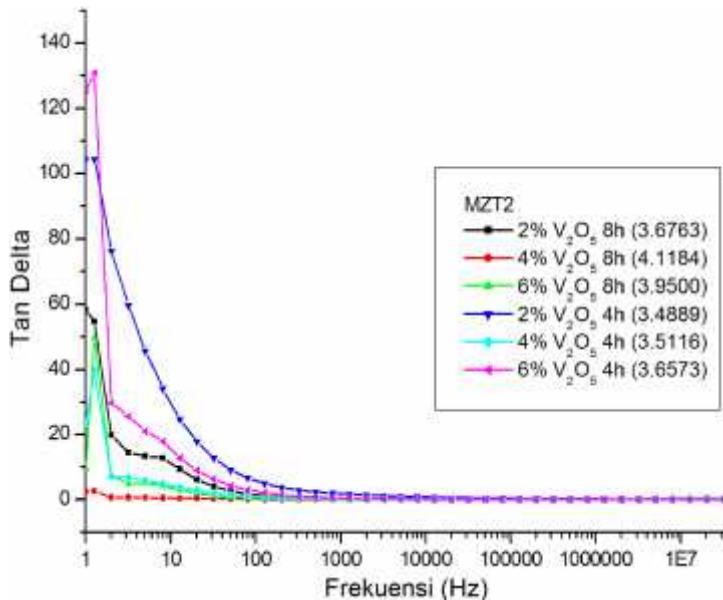
Gambar 4.5 Hubungan permitivitas real terhadap frekuensi pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa material dengan densitas yang tinggi, mengalami perubahan ke polarisasi *space charge* yang lebih lambat dibandingkan dengan densitas yang rendah. Pada densitas yang rendah, material memiliki porositas yang tinggi. Akibatnya, material lebih mudah mengalami polarisasi *space charge* dibandingkan polarisasi dipolar. Ketika material diberikan frekuensi rendah, muatan pada material dengan jumlah porositas tinggi (*close pore*) memiliki waktu yang cukup untuk berpindah dari sisi porositas satu ke sisi yang lain, akibatnya pada frekuensi rendah memiliki besar permitivitas yang tinggi. Ketika frekuensi tinggi, elektron yang berada di sisi porositas tertutup tidak memiliki cukup waktu untuk berpindah ke sisi yang lain. Akibatnya tidak terjadi polarisasi *space charge*.



Gambar 4.6 Hubungan permitivitas imajiner terhadap frekuensi pada variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering

Karakteristik listrik *dielectric loss* dapat diketahui pada sampel dengan meninjau nilai permitivitas imajiner yaitu pada Gambar 4.6. Dari grafik antara frekuensi terhadap permitivitas imajiner, juga dapat diketahui adanya puncak Debye. Pada rentang frekuensi 1Hz sama 32MHz pada material tidak terjadi puncak Debye. Pada grafik dapat diketahui pada material dengan densitas yang tinggi mempunyai *dielectric loss* yang kecil ditunjukkan dengan dengan nilai permitivitas imajiner yang cenderung konstan dibandingkan dengan variasi yang lain. Sedangkan pada densitas terendah, mengalami kenaikan besar *dielectric loss*.



Gambar 4.7 Hubungan Tan Delta terhadap frekuensi pada variasi persen berat V₂O₅ dan waktu tahan sintering

Factor disipasi dielektrik dapat diketahui dengan meninjau besaran Tan Delta berdasarkan frekuensi yang diberikan pada material. Ketika frekuensi tinggi diberikan, besar Tan Delta menurun dan mendekati nilai konstan. Hal ini dikarenakan ketika frekuensi tinggi, perubahan posisi dipol sangat sedikit, sehingga terjadi pengurangan gesekan antar molekul. Penn et al (1997) menyatakan bahwa material dengan tan delta yang besar memiliki porositas yang besar juga begitu pula dengan sebaliknya. Jika dilihat dari besaran densitas Archimedes, material dengan densitas tertinggi yaitu material 8 jam memiliki nilai tan delta yang rendah dibandingkan dengan material dengan densitas rendah yaitu pada material 4 jam.

Jika ditinjau pada hasil SEM, material dengan ukuran butir yang kecil memiliki batas butir yang banyak (2.49 μ m; 6% 4jam) sehingga nilai permitivitas real, permitivitas imajiner, dan

tan delta yang tinggi pada daerah polarisasi *space charge* dibandingkan dengan material dengan batas butir yang sedikit ($2.94\mu\text{m}$; 6% 8jam). Material dengan batas butir dan batas fasa membagi material tersebut antar butir dan antar fasa. Dimana butir atau fasa satu dengan yang lain memiliki konduktivitas yang berbeda. Pergerakan muatan melewati butir atau fasa satu dengan yang lain akan terganggu oleh adanya batas tersebut. Hal ini menyebabkan muatan pada batas tersebut, akibatnya terjadi polarisasi *space charge* yang tinggi dan nilai konstanta dielektrik yang tinggi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. *Shrinkage* pada penambahan 2wt%, dan 6wt% V_2O_5 pada MZT2 tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Densitas terbesar ditunjukkan pada material dengan variasi 4wt% V_2O_5 dengan suhu sintering 8jam sebesar 4.12 gr/cm^3 .
2. Penambahan waktu sintering pada material menunjukkan terjadinya pertumbuhan butir dan pengurangan porositas yang mengakibatkan peningkatan nilai densitas. Material dengan densitas terbesar memiliki nilai resistivitas dan real (polarisasi dipolar) yang tinggi sedangkan konduktivitas, faktor disipasi, dan *dielectric loss* yang kecil. Selain itu densitas tertinggi memiliki rentang frekuensi polarisasi dipolar yang besar.
3. Material dengan ukuran *grain* yang besar memiliki batas butir sedikit yang mengakibatkan nilai real, imajiner, dan tan delta yang rendah pada daerah polarisasi *space charge*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Dilakukan penelitian dengan penambahan V_2O_5 dengan persentase kurang dibawah 1% dikarenakan penambahan V_2O_5 yang cukup besar membentuk fasa baru dengan MZT2
2. Frekuensi uji diturunkan mencapai 10mHz untuk mendapatkan frekuensi relaksasi pada material

3. Perlu dilakukan karakterisasi listrik dengan fungsi suhu untuk mendapatkan konstanta temperature_f pada material uji

DAFTAR PUSTAKA

- Barsoum, M. W., 2003. "Fundamentals of Ceramics". UK: MPG Books Ltd. Bodmin. Cornwall.
- Boch, P., Niepce, J., 2006. "Ceramic Materials Processes, Properties and Applications". Great Britain: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- Cheng, H., Xu, B., Ma, J., 1997. "Perparation of MgTiO_3 by an improved chemical co-precipitation method". Journal of Materials Science Letters, 16:1570-1572.
- Ermawati, F.U., Istihanah, R. Lestari, Suasmoro, Pratapa, S., 2012. "Structural and Microstructural Studies on $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{TiO}_3$ ($x=0.0-0.5$) Solid Solutions Formation". International Conference on Mathemathics And Science.
- Huang, C., Hou, J. L., Pan, C., Huang, C. Y., Peng, C., Wei, C., Huang, Y. H., 2008. "Effect of ZnO additive on sintering behavior and microwave dielectric properties of $0.95\text{MgTiO}_3-0.05\text{CaTiO}_3$ ceramics". Journal of Alloys and Compounds, 450:359-363.
- Huang, C., Pan, C., Shium, S., 2002. "Liquid phase sintering of MgTiO_3 - CaTiO_3 microwave dielectric ceramics". Materials Chemistry and Physics, 78:111-115.
- Huang, C., Weng, M., 2001. "Improved high Q value of $\text{MgTiO}_3-\text{CaTiO}_3$ microwave dielectric ceramics at low sintering temperature". Materials Research Bulletin, 36:2741-2750.
- Istianah, 2011. "Microstructural Study of Solid Solution $\text{MxMg}_{1-x}\text{TiO}_3$ ($\text{M}=\text{Zn}, \text{Ni}$) Produced by Wet Mixing". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kingery, W. D., Bowen, H. K., Uhlmann, D. R., 1976. "Introduction to ceramics, 2nd Edition". John Wiley & Sons Inc:Toronto, Canada

- Miao, Y., Zhang, Q., Yang, H., Wang, P., 2006. "Low-temperature synthesis of nano-crystalline magnesium titanate materials by the sol-gel method". *Material Science and Engineering B*, 128:103-106.
- Moulson, A. J., Herbert, J. M., 2003. "Electroceramics Second Edition". Great Britain: T. J. International, Padstow, Cornwall.
- Pan, C., Shen, C., Chen, P., Tan., T, 2010. "Characterization and dielectric behavior of a new dielectric ceramic MgTiO_3 - $\text{Ca}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ at microwave frequencies". *Journal of Alloys and Compounds*, 503:365-269.
- Penn, S. J., Alford, N. M., Templeton, S., Wang, X., Xu, M., Reece, M., Schrapel, K., 1997."Effect of Porosity and Grain Size on Microwave Dielectric Properties of Sintered Alumina". *Journal of American Ceramic Society*, 80:1885-1888.
- Saukani, M., Suasmoro, 2015. "Characterization of $\text{Mg}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{TiO}_3$ Prepared via Liquid Phase Sintering". *Advanced Materials Research Vol 1112*, 11-14.
- Shen, C., Huang, C., Lin, L., Pan, C., 2010. "Characterization and dielectric behavior of V2O5-doped $0.9\text{Mg}_{0.95}\text{Co}_{0.05}\text{TiO}_3$ - $0.1\text{Ca}_{0.6}\text{La}_{0.8/3}\text{TiO}_3$ ceramic system at microwave frequency". *Journal of Alloys and Compounds*, 489:170-174.
- Vigreux, C., Deneuve, B., El Fallah, J., Haussonne, J. M., 2001. "Effects of acceptor and donor additives on the properties of MgTiO_3 ceramics sintered under reducing atmosphere". *Journal of the European Ceramic Society*, 21:1681-1684.
- Wang, H., Yang, Q., Li, D., Huang, L., Zhao, S., Xu, S., 2012. "Sintering Behaviour and Microwave Dielectric Properties of MgTiO_3 Ceramics Doped with B_2O_3 by Sol-Gel Method". *Journal Material Science Technology*, 28:751-755.

Zhang, M., Li, L., Xia, W., Liao, Q., 2012. "Structure and properties analysis for MgTiO_3 and $(\text{Mg}_{0.97}\text{M}_{0.03})\text{TiO}_3$ ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Co}$ and Mn) microwave dielectric materials". *Journal of Alloys and Compounds*, 537:76-79.

[Http://www.periodictable.com/Properties/A/AtomicRadius.v.wt.html](http://www.periodictable.com/Properties/A/AtomicRadius.v.wt.html)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Perhitungan	37
LAMPIRAN B Data Kristalografi.....	38
LAMPIRAN C Rekap Rietica metode LeBail	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

Perhitungan

Diketahui :

$$\begin{array}{lll} \text{Ar Mg} & = 24.305 & \text{Mr MgTiO}_3 & = 120.185 \\ \text{Ar Ti} & = 47.88 & \text{Ar V} & = 50.94 \\ \text{Ar Zn} & = 65.39 & \text{Mr V}_2\text{O}_5 & = 181.88 \\ \text{Ar O} & = 16 & & \end{array}$$

Perbandingan mol Zn : Mg : Ti = 0.2 : 1.265 : 1

$$\begin{array}{ll} \text{Massa Zn} = \text{mol} \times \text{Ar Zn} & \text{Massa Mg} = \text{mol} \times \text{Ar Mg} \\ = 0.2 \times 65.39 & = 1.265 \times 24.305 \\ = 13.0780 \text{ gr} & = 30.7458 \text{ gr} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa Ti} = \text{mol} \times \text{Ar Ti} \\ = 1 \times 47.88 \\ = 47.88 \text{ gr} \end{array}$$

Jika dilakukan sintesis sebanyak Ti = 1gr, maka dibutuhkan adalah

$$\text{Massa' Zn} = \frac{13.078\text{gr}}{47.88} = 0.2731\text{gr}$$

$$\text{Massa' Mg} = \frac{30.7458\text{gr}}{47.88} = 0.6421\text{gr}$$

LAMPIRAN B

Data Kristalografi

Entry # 96-901-1262

Phase classification

Mineral Name	Geikielite
Formula	MgO ₃ Ti
I/Icor	1.840000
Sample Name	9011261
Quality	C (calculated)

References

Publication

Bibliography	Wechsler B. A., Von Dreele R. B., "Structure refinements of Mg ₂ TiO ₄ , MgTiO ₃ and MgTi ₂ O ₅ by time-of-flight neutron powder diffraction Locality: synthetic", Acta Crystallographica, Section B 45, 542-549 (1989)
---------------------	--

Origin of data

Source of entry	COD (Crystallography Open Database)
Link to orig.	9011261

Crystal structure

Crystallographic data

Space group	R -3 (148)
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Cell parameters	a= 5.0548 Å c= 13.8992 Å

Atom coordinates

ElementOxid.	x	y	z	Bi	Focc
Mg	0.000	0.000	0.356	1.000000	1.000000
Ti	0.000	0.000	0.145	1.000000	1.000000
O	0.316	0.021	0.246	1.000000	1.000000

Experimental

Physical Properties

Calc. density	3.89100 g/cm ³
----------------------	---------------------------

Entry # 96-901-3399***Phase classification***

Mineral Name Qandilite
Formula $\text{Mg}_2\text{O}_4\text{Ti}$
I/Icor 2.400000
Sample Name 9013398
Quality C (calculated)

References***Publication***

Bibliography Wechsler B. A., Von Dreele R. B., "Structure refinements of Mg_2TiO_4 , MgTiO_3 and MgTi_2O_5 by time-of-flight neutron powder diffraction Locality: synthetic Sample: T = 973 K", Acta Crystallographica, Section B 45, 542-549 (1989)

Origin of data

Source of entry COD (Crystallography Open Database)
Link to orig. 9013398

Crystal structure***Crystallographic data***

Space group F d -3 m (227)

Crystal system cubic

Cell parameters a= 8.4376 Å

Cell meas. conditions T= 973.0 K

Atom coordinates

ElementOxid.	x	y	z	Bi	Focc
Mg	0.125	0.125	0.125	1.000000	0.997900
Ti	0.125	0.125	0.125	1.000000	0.002000
Mg	0.500	0.500	0.500	1.000000	0.501000
Ti	0.500	0.500	0.500	1.000000	0.498900
O	0.260	0.260	0.260	1.000000	1.000000

Experimental***Physical Properties***

Calc. density 3.5480 g/cm

LAMPIRAN C

Rekap Rietica metode LeBail

Tabel C.1 Rekap data analisa rietica menggunakan metode Le Bail pada MZT 2 variasi persen berat V_2O_5 dan waktu tahan sintering *(MT= $MgTiO_3$, M2T = Mg_2TiO_4) **(Hasil Saukani, 2015)

Variasi	MZT2 setelah kalsi**	2% 4h		4% 4h		6% 4h	2% 8h		4% 8h		6% 8h		
Phase	MT	MT	M2T	MT	M2T	MT	MT	M2T	MT	M2T	MT	M2T	
a	5.07	5.06	8.44	5.06	8.44	5.05	5.05	8.44	5.05	8.44	5.05	8.44	
b				13.91		13.90			13.9		13.9		
c	13.94	13.91											
Cell Volume	309.85	307.96	601.67	307.96	600.80	307.64	307.71	601.27	307.51	600.7	307.55	600.48	
Rp	14.87	16.42		15.94		16.77	11.08		12.25		12.89		
Rwp	19.99	22.02		20.81		23.60	15.31		16.33		17.44		
Gof	1.70	3.29		3.08		3.79	1.64		1.96		2.04		
Derived Bragg	4.83	1.09	0.97	0.86	0.81	0.10	0.07	0.09	0.09	0.08	0.05	0.1	



BIODATA PENULIS

Penulis “Setiawan Abdillah” merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis lahir di Blitar pada 2 Oktober 1993. Penulis menempuh pendidikan SD pada tahun 1999-2002 di MI Hidayatullah Blitar dilanjutkan pada tahun 2002-2005 di SDN IV Sananwetan Blitar. Pada tahun 2005-2008, penulis melanjutkan di SMPN 2 Blitar. Melanjutkan pada tahun 2008-2011 di SMAN 1 Blitar. Meneruskan pendidikan S1 di jurusan Fisika FMIPA ITS melalui jalur SNMPTN Undangan pada tahun 2011. Selama pendidikan S1, penulis menjabat sebagai staff ristek HIMASIKA 2012-2013, staff perkom BEM FMIPA 2012-2013, kabi ro keilmiahan ristek 2013-2014, asisten madya 2014-2015, asisten fisika laboratorium 2014, dan koordinator asisten madya 2015. Penulis merupakan salah satu mahasiswa berprestasi (MAWAPRES) jurusan Fisika FMIPA ITS pada tahun 2014. Selain itu penulis pernah mendapatkan dana hibah PKMP tahun 2012, PKMK 2012, PKMP 2013, dan PKMK 2013. (setiawan.abdillah@gmail.com)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”